

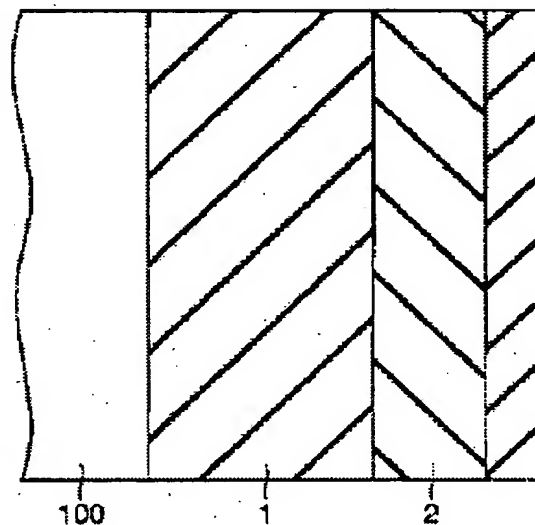
SEMICONDUCTOR LIGHT ELEMENT DEVICE

Patent number: JP2001196685
Publication date: 2001-07-19
Inventor: SHIGIHARA KIMIO; AOYANAGI TOSHITAKA
Applicant: MITSUBISHI ELECTRIC CORP
Classification:
- international: H01S5/028; H01L33/00
- european:
Application number: JP20000004442 20000113
Priority number(s):

Abstract of JP2001196685

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor light element device improved to prevent a residual reflection factor from existing.

SOLUTION: On the end of a semiconductor light-emitting device 100, a three-layer film consisting of first, second, and third films 1, 2, and 3 is provided. The characteristic matrix as the entire three-layer film consisting of the refractive index and film thickness of the first, second, and third films 1, 2, and 3 is composed so that it coincides with the characteristic matrix of a single-layer film. A refractive index n_f is set to the square root of an effective refractive index n_c of the semiconductor light-emitting device 100, and the thickness is set to a value where the wavelength λ of the semiconductor light-emitting device 100 is divided by $4n_f$.



1: 第1の膜
2: 第2の膜
3: 第3の膜
100: 半導体レーザー

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-196685
(P2001-196685A)

(43) 公開日 平成13年7月19日 (2001.7.19)

(51) Int.Cl.

識別記号

H 0 1 S 5/028
H 0 1 L 33/00

F I

H 0 1 S 5/028
H 0 1 L 33/00

テ-マ-コード (参考)

5 F 0 4 1
A 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-4442 (P2000-4442)

(22) 出願日 平成12年1月13日 (2000.1.13)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 嶋原 君男

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72) 発明者 青柳 利隆

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(74) 代理人 100064746

弁理士 深見 久郎 (外4名)

Fターム (参考) 5F041 CA34 CA39 CB36

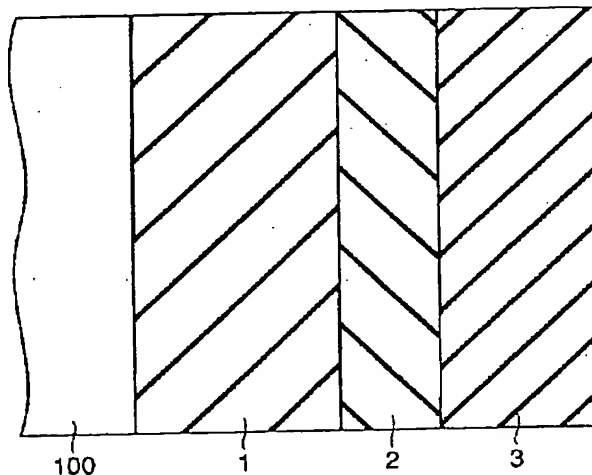
5F073 AA64 AA65 AA74 AA83 CA12
CB20 DA33

(54) 【発明の名称】 半導体光素子装置

(57) 【要約】

【課題】 残留反射率が存在しないように改良された半導体光素子装置を提供することを主要な目的とする。

【解決手段】 半導体発光素子100の端面に、第1の膜1、第2の膜2、第3の膜3からなる3層膜が設けられている。第1の膜1、第2の膜2および第3の膜3の、屈折率および膜厚からなる、3層膜の全体としての特性行列が、屈折率 n_f が半導体光素子100の実効屈折率 n_c の平方根の値であり、厚さが半導体発光素子100の波長 λ を $4n_f$ で割った値である単層膜の特性行列と一致するように構成されている。



1: 第1の膜
2: 第2の膜
3: 第3の膜
100: 半導体レーザ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 実効屈折率が n_c の半導体光素子と、前記半導体光素子の端面に設けられた、屈折率 n_1 で厚さが d_1 の第1の膜、屈折率が n_2 で厚さが d_2 の第2の膜、屈折率が n_3 で厚さが d_3 の第3の膜からなる3層膜と、を備え、前記第1、第2および第3の膜のうち、1つ以上はその屈折率が前記半導体光素子の実効屈折率 n_c の平方根よりも大きく、前記第1、第2および第3の膜のうち1つ以上はその屈折率が前記半導体光素子の実効屈折率 n_c

$$\begin{pmatrix} 0 & -\frac{i}{n_f} \\ -i n_f & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin \phi_1 \\ -i n_1 \sin \phi_1 & \cos \phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin \phi_2 \\ -i n_2 \sin \phi_2 & \cos \phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_3 & -\frac{i}{n_3} \sin \phi_3 \\ -i n_3 \sin \phi_3 & \cos \phi_3 \end{pmatrix}$$

ただし、

$$\begin{aligned} \phi_1 &= 2\pi n_1 d_1 / \lambda \\ \phi_2 &= 2\pi n_2 d_2 / \lambda \\ \phi_3 &= 2\pi n_3 d_3 / \lambda \\ n_f &= \sqrt{n_c} \end{aligned}$$

を満たすことを特徴とする、半導体光素子装置。

【請求項2】 前記半導体光素子端面と前記第1の膜の間、前記第1の膜と前記第2の膜の間、前記第2の膜と前記第3の膜の間、および前記第3の膜と空気との間の1箇所以上に、任意の屈折率 n_a を有し、かつ厚さが前記半導体光素子の波長 λ を $2n_a$ で割った値である膜を1層あるいは複数層挿入したことを特徴とする、請求項1に記載の半導体光素子装置。

【請求項3】 前記半導体光素子は半導体レーザーであることを特徴とする、請求項1または2に記載の半導体光素子装置。

【請求項4】 前記半導体光素子はスーパーミッセンストダイオードであることを特徴とする、請求項1または2に記載の半導体光素子装置。

【請求項5】 前記半導体光素子は発光ダイオードであることを特徴とする、請求項1または2に記載の半導体光素子装置。

【請求項6】 前記半導体光素子は半導体レーザー増幅器であることを特徴とする、請求項1または2に記載の半導体光素子装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、一般に、半導体光素子装置に関するものであり、発光ダイオード、半導体レーザー、スーパーミッセンストダイオードあるいは半導体レーザー増幅器等の発光素子端面に無反射コーティング膜を形成した、半導体光素子装置に関する。

の平方根よりも小さい値であり、

前記第1、第2および第3の膜の屈折率は、 $n_2 \geq n_1 \geq n_3 \geq 1$ を満たし、

前記第1、第2および第3の膜の屈折率および膜厚からなる、前記3層膜の全体としての、特性行列が、屈折率 n_f が前記半導体光素子の実効屈折率 n_c の平方根の値であり、厚さが前記半導体光素子の波長 λ を $4n_f$ で割った値である単層膜の特性行列と一致するように、下記の式、

【数1】

【0002】

【従来の技術】図7は、文献 J. T. Cox, G. Hass と G. F. Jacobus 著, Journal of the Optical Society of America, vol. 51, 第714頁-718頁、1961で開示された従来の無反射コーティング膜の構成を示す図である。

【0003】図7を参照して、実効屈折率が n_c である半導体レーザー100の端面に、屈折率が n_1 で膜厚が $d_1 = \lambda / (4n_1)$ である第1の膜101、屈折率が n_2 で膜厚が $d_2 = \lambda / (4n_2)$ である第2の膜102、屈折率が n_3 で膜厚が $d_3 = \lambda / (4n_3)$ である第3の膜103が形成されている。ここで、 λ は半導体レーザーの発振波長である。

【0004】また、各層の屈折率は次の関係を満たす。

【0005】

【数2】

$$\left. \begin{aligned} n_2 &= n_1 n_3 = n_c \\ n_c &> n_1 > n_2 > n_3 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

【0006】次に、動作について説明する。半導体レーザー端面に設けられた第1の膜101、第2の膜102および第3の膜103の屈折率は、上記式(1)を満たし、かつ膜厚が $\lambda / (4n_i)$ [$i=1, 2, 3$]であるので、半導体レーザー内において、端面へ向かう光と端面から反射してくる光の位相が 180° (π ラジアン)ずれ、かつそれらの振幅が等しくなる。このため、半導体レーザー端面での反射がなくなり、無反射膜が形成できる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の半導体光素子の無反射膜は以上のように構成されているので、屈折率が上記(1)式を満たす物質を選択する必要があるが、現実には適切な物質が存在しない。このため、上記(1)式からずれが生じ、無反射とはならず、残留反射率が存在してしまうという問題点があった。

【0008】この発明は上記のような問題点を解決するためになされたもので、入手容易な物質を用い、半導体光素子端面の反射率をゼロにすることができるよう改良された半導体光素子装置を提供することを主要な目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る半導体光素子装置は、実効屈折率が n_c の半導体光素子を備える。上記半導体光素子の端面に、屈折率 n_1 で厚さが d_1 の第1の膜、屈折率が n_2 で厚さが d_2 の第2の膜、屈折

$$\begin{pmatrix} 0 & -\frac{i}{n_f} \\ -i n_f & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin \phi_1 \\ -i n_1 \sin \phi_1 & \cos \phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin \phi_2 \\ -i n_2 \sin \phi_2 & \cos \phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_3 & -\frac{i}{n_3} \sin \phi_3 \\ -i n_3 \sin \phi_3 & \cos \phi_3 \end{pmatrix}$$

ただし、

$$\phi_1 = 2\pi n_1 d_1 / \lambda$$

$$\phi_2 = 2\pi n_2 d_2 / \lambda$$

$$\phi_3 = 2\pi n_3 d_3 / \lambda$$

$$n_f = \sqrt{n_c}$$

【0012】を満たす。請求項1に係る半導体光素子装置において、上記半導体光素子の実効屈折率から決まる4分の1波長厚の理想的な単層膜の代わりにそれと等価な3層膜で置換えたものは、上記半導体光素子の波長において、上記半導体光素子端面の反射率をゼロにする作用がある。

【0013】請求項2に係る半導体光素子装置においては、上記半導体光素子の端面に、上記半導体光素子の実効屈折率から決まる4分の1波長厚の理想的な単層膜の代わりにそれと等価な3層膜で置換え、かつ上記半導体光素子端面と第1の膜の間、第1の膜と第2の膜の間、第2の膜と第3の膜の間、および第3の膜と空気との間の1箇所に、任意の屈折率 n_a を有し、かつ厚さが半導体光素子の波長 λ を $2n_a$ で割った値である膜を1層あるいは複数層挿入している。

【0014】請求項2に係る半導体光素子装置によれば、上記半導体光素子の波長において、上記半導体光素子の端面の反射率をゼロにするとともに、上記半導体光素子の波長以外では反射率が急激に大きくなる作用がある。

率が n_3 で厚さが d_3 の第3の膜からなる3層膜が設けられている。上記第1、第2および第3の膜のうち、1つ以上は、その屈折率が上記半導体光素子の実効屈折率 n_c の平方根よりも大きく、上記第1、第2および第3の膜のうち、1つ以上は、その屈折率が上記半導体光素子の実効屈折率 n_c の平方根よりも小さい値である。上記第1、第2および第3の膜の屈折率は、 $n_2 \geq n_1 \geq n_3 \geq 1$ を満たす。

【0010】上記第1、第2および第3の膜の屈折率および膜厚からなる上記3層膜の全体としての特性行列が、屈折率 n_f が上記半導体光素子の実効屈折率 n_c の平方根の値であり、厚さが上記半導体光素子の波長 λ を $4n_f$ で割った値である単層膜の特性行列と一致するように、下記の式、

【0011】

【数3】

【0015】請求項3に係る半導体光素子装置においては、半導体光素子が半導体レーザである。半導体レーザ端面に、該半導体レーザの実効屈折率から決まる4分の1波長厚の理想的な単層膜の代わりにそれと等価な3層膜で置換えたもの、または、上記半導体レーザの実効屈折率から決まる4分の1波長厚の理想的な単層膜の代わりに、それと等価な3層膜で置換え、かつ上記半導体レーザ端面と第1の膜の間、第1の膜と第2の膜の間、第2の膜と第3の膜の間、および第3の膜と空気との間の1箇所に、任意の屈折率 n_a を有し、かつ厚さが半導体レーザの波長 λ を $2n_a$ で割った値である膜を1層あるいは複数層挿入したものである。

【0016】請求項3に係る半導体レーザによれば、半導体レーザの発振波長において、該半導体レーザ端面の反射率をゼロにする。または、半導体レーザの発振波長において、該半導体レーザ端面の反射率をゼロにするとともに、上記半導体レーザの発振波長以外では、反射率が急激に大きくなる作用がある。

【0017】請求項4に係る半導体光素子装置においては、上記半導体光素子はスーパールミネッセントダイオ

ードである。スーパーミネッセントダイオードの端面に、該スーパーミネッセントダイオードの実効屈折率から決まる4分の1波長厚の理想的な単層膜の代わりにそれと等価な3層膜で置換えたもの、または、該スーパーミネッセントダイオードの実効屈折率から決まる4分の1波長厚の理想的な単層膜の代わりに、それと等価な3層膜で置換え、かつ上記スーパーミネッセントダイオードと第1の膜の間、第1の膜と第2の膜の間、第2の膜と第3の膜の間、および第3の膜と空気との間の1箇所以上に、任意の屈折率 n_0 を有し、かつ厚さがスーパーミネッセントダイオードの波長 λ を $2n_0$ で割った値である膜を1層あるいは複数層挿入したものである。

【0018】請求項4に係るスーパーミネッセントダイオードによれば、スーパーミネッセントダイオードの波長において、上記スーパーミネッセントダイオード端面の反射率をゼロにする、または、上記スーパーミネッセントダイオードの波長において、上記スーパーミネッセントダイオード端面の反射率をゼロにするとともに、上記スーパーミネッセントダイオードの波長以外では反射率が急激に大きくなる作用がある。

【0019】請求項5に係る半導体光子装置において、上記半導体光子装置は発光ダイオードである。この発明に係る発光ダイオード装置は、上記発光ダイオード端面に、上記発光ダイオードの実効屈折率から決まる4分の1波長厚の理想的な単層膜の代わりにそれと等価な3層膜で置換えたもの、または、上記発光ダイオードの実効屈折率から決まる4分の1波長厚の理想的な単層膜の代わりに、それと等価な3層膜で置換え、かつ上記発光ダイオードと第1の膜の間、第1の膜と第2の膜の間、第2の膜と第3の膜の間、および第3の膜と空気との間の1箇所以上に、任意の屈折率 n_0 を有し、かつ厚さが発光ダイオードの波長 λ を $2n_0$ で割った値である膜を1層あるいは複数層挿入したものである。

【0020】請求項5の発明に係る発光ダイオード装置においては、発光ダイオードの波長において、該発光ダイオード端面の反射率をゼロにする、または、上記発光ダイオードの波長において、上記発光ダイオード端面の反射率をゼロにするとともに、上記発光ダイオードの波長以外では、反射率が急激に大きくなる作用がある。

【0021】請求項6に係る半導体光子装置において、上記半導体光子装置は半導体レーザ増幅器である。この発明に係る半導体レーザ増幅器装置は、半導体レーザ増幅器に、上記半導体レーザの実効屈折率から決まる4分の1波長厚の理想的な単層膜の代わりに、それと等価な3層膜で置換えたもの、または、上記半導体レーザ増幅器の実効屈折率から決まる4分の1波長厚の理想的な単層膜の代わりに、それと等価な3層膜で置換え、かつ

上記半導体レーザ増幅器と第1の膜の間、第1の膜と第2の膜の間、第2の膜と第3の膜の間、および第3の膜と空気との間の1箇所以上に、任意の屈折率 n_0 を有し、かつ厚さが半導体レーザ増幅器の波長 λ を $2n_0$ で割った値である膜を1層あるいは複数層挿入したものである。

【0022】この発明によれば、半導体レーザ増幅器の波長において、上記半導体レーザ増幅器端面の反射率をゼロにする、または、上記半導体レーザ増幅器の波長において、上記半導体レーザ増幅器端面の反射率をゼロにするとともに、上記半導体レーザ増幅器の波長以外では反射率が急激に大きくなる作用がある。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を図について説明する。

【0024】実施の形態1

図1は、実施の形態1に係る半導体光子装置の、一部断面図であり、半導体光子装置端面のコーティング膜の部分を示す断面図である。実効屈折率が n_c の半導体レーザ100の端面に屈折率が n_1 で膜厚が d_1 である第1の膜1と、屈折率が n_2 で膜厚が d_2 である第2の膜2と、屈折率が n_3 で膜厚が d_3 である第3の膜3が形成されている。

【0025】第1の膜1、第2の膜2および第3の膜3のうち、1つ以上はその屈折率が半導体光子装置100の実効屈折率 n_c の平方根よりも大きく、第1の膜1、第2の膜2および第3の膜3のうち、1つ以上は、その屈折率が半導体光子装置100の実効屈折率 n_c の平方根よりも小さい値である。このように条件づけるのは、このような条件がないと、後述する方程式の解が存在しなくなるからである。

【0026】第1の膜1、第2の膜2および第3の膜3の屈折率は、次の式(2)を満たす。1は、空気の屈折率を表わしている。このように条件づけるのは、このような不等式を満足しないと、後述する方程式の解が存在しなくなるからである。

【0027】

【数4】

$$n_2 \geq n_1 \geq n_3 \geq 1 \quad (2)$$

【0028】第1の膜1、第2の膜2および第3の膜3の屈折率および膜厚からなる、3層膜の全体としての、特性行列が、屈折率 n_f が半導体光子装置の実効屈折率 n_c の平方根の値であり、厚さが半導体光子装置の波長 λ を $4n_f$ で割った値である単層膜の特性行列と一致するように、下記の式、

【0029】

【数5】

$$\begin{pmatrix} 0 & -\frac{i}{n_f} \\ -i n_f & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin \phi_1 \\ -i n_1 \sin \phi_1 & \cos \phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin \phi_2 \\ -i n_2 \sin \phi_2 & \cos \phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_3 & -\frac{i}{n_3} \sin \phi_3 \\ -i n_3 \sin \phi_3 & \cos \phi_3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

ただし、

$$\phi_1 = 2\pi n_1 d_1 / \lambda$$

$$\phi_2 = 2\pi n_2 d_2 / \lambda$$

$$\phi_3 = 2\pi n_3 d_3 / \lambda$$

$$n_f = \sqrt{n_c}$$

【0030】を満足するものとする。式(3)において、0は、 i は $\sqrt{-1}$ であり、 $\cos \pi/2$ の値である。 $-i/n_f$ は $-i/n_f \sin \pi/2$ の値を表わしており、 $-i n_f$ は $-i n_f \sin \pi/2$ を表わしている。ここに特性行列とは、光学材料の透過特性(入力に対する反射)を示す指標となるものである。

【0031】次に、各層厚 d_i ($i=1, 2, 3$)の求め方について述べる。式(3)より、次の4つの式が導ける。

【0032】

【数6】

$$\left(1 - \frac{n_2}{n_1} \tan \phi_1 \tan \phi_2\right) - \left(\frac{1}{n_2} \tan \phi_2 + \frac{1}{n_1} \tan \phi_1\right) n_3 \tan \phi_3 = 0 \quad (4)$$

$$-(n_1 \tan \phi_1 + n_2 \tan \phi_2) \frac{1}{n_3} \tan \phi_3 + \left(-\frac{n_1}{n_2} \tan \phi_1 \tan \phi_2 + 1\right) = 0 \quad (5)$$

【0033】

【数7】

$$\left\{ (n_1 \tan \phi_1 + n_2 \tan \phi_2) + \left(-\frac{n_1}{n_2} \tan \phi_1 \tan \phi_2 + 1\right) n_3 \tan \phi_3 \right\}^2 \quad (6)$$

$$= n_f^2 (1 + \tan^2 \phi_1) (1 + \tan^2 \phi_2) (1 + \tan^2 \phi_3)$$

$$\left\{ \left(1 - \frac{n_2}{n_1} \tan \phi_1 \tan \phi_2\right) \frac{1}{n_3} \tan \phi_3 + \left(\frac{1}{n_2} \tan \phi_2 + \frac{1}{n_1} \tan \phi_1\right) \right\}^2 \quad (7)$$

$$= \frac{1}{n_f^2} (1 + \tan^2 \phi_1) (1 + \tan^2 \phi_2) (1 + \tan^2 \phi_3)$$

【0034】ここで、 $\tan \phi_1 = x$, $\tan \phi_2 = y$, $\tan \phi_3 = z$ と置くと、上式(4)、(5)、(6)および(7)は次のようになる。

【0035】

【数8】

$$n_2(n_1 - n_2xy) - (n_1y + n_2x)n_3z = 0 \quad (4a)$$

$$-n_2(n_1x + n_2y)z + n_3(-n_1xy + n_2) = 0 \quad (5a)$$

$$(n_2(n_1x + n_2y) + (-n_1xy + n_2)n_3z)^2 = n_1^2n_f^2(1+x^2)(1+y^2)(1+z^2) \quad (6a)$$

$$n_f^2(n_2(n_1 - n_2xy)z + n_3(n_1y + n_2x))^2 = n_1^2n_2^2n_3^2(1+x^2)(1+y^2)(1+z^2) \quad (7a)$$

また、(6a)と(7a)から、次式が導ける。

$$\frac{n_2(n_1x + n_2y) + (-n_1xy + n_2)n_3z}{n_2(n_1 - n_2xy)z + n_3(n_1y + n_2x)} = \pm \frac{n_f^2}{n_1^2n_2^2} \quad (8)$$

【0036】 x 、 y および z の3つの未知数に対して、
方程式は(4a)、(5a)および(8)の3つである。
以下、これを解いて3つの未知数を決定する。

【0037】(4a)より、

【0038】

【数9】

$$z = \frac{n_2(n_1 - n_2xy)}{n_3(n_1y + n_2x)} \quad (4b)$$

となり、(5a)に代入して整理すると次式となる。

$$-n_2^2(n_1x + n_2y)(n_1 - n_2xy) + n_3^2(n_1y + n_2x)(-n_1xy + n_2) = 0 \quad (5b)$$

【0039】また、(8)において+符号の場合について整理すると、次式となる。

【0040】

【数10】

$$((n_2^2n_f^2 - n_1^2n_3^2)xy + n_1n_2(n_3^2 - n_f^2))z = n_2n_3(n_f^2 - n_1^2)x + n_1n_3(n_f^2 - n_2^2)y \quad (8a)$$

上記(8a)に(4b)を代入して整理すると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} & -n_2^2(n_2^2n_f^2 - n_1^2n_3^2)x^2y^2 - n_2^2n_3^2(n_f^2 - n_1^2)x^2 - n_1^2n_3^2(n_f^2 - n_2^2)y^2 \\ & + 2n_1n_2n_f^2(n_2^2 - n_3^2)xy + n_1^2n_2^2(n_3^2 - n_f^2) = 0 \end{aligned} \quad (8b)$$

(5b)を y について整理すると、次式となる。

$$(n_2^4 - n_1^2n_3^2)xy^2 + n_1n_2(n_2^2 - n_3^2)(x^2 - 1)y - n_2^2(n_1^2 - n_3^2)x = 0 \quad (5c)$$

上記(5c)を y について解いて整理すると、次式となる。

【0041】

【数11】

【0042】

【数12】

(5d)

$$y = \frac{-n_1 n_2 (n_2^2 - n_3^2) (x^2 - 1) \pm n_2 \sqrt{n_1^2 (n_2^2 - n_3^2)^2 x^4 + 2 (n_1^2 (n_2^2 + n_3^2)^2 - 2 n_3^2 (n_1^4 + n_2^4)) x^2 + n_1^2 (n_2^2 - n_3^2)^2}}{2 (n_2^4 - n_1^2 n_3^2) x}$$

+符号について考え、

(5e)

$$g(x) = \frac{-n_1 n_2 (n_2^2 - n_3^2) (x^2 - 1) \pm n_2 \sqrt{n_1^2 (n_2^2 - n_3^2)^2 x^4 + 2 (n_1^2 (n_2^2 + n_3^2)^2 - 2 n_3^2 (n_1^4 + n_2^4)) x^2 + n_1^2 (n_2^2 - n_3^2)^2}}{2 (n_2^4 - n_1^2 n_3^2) x}$$

と置くと、(8b)はxのみを含む次式となる。

$$-n_2^2(n_2^2n_f^2-n_1^2n_3^2)x^2g(x)^2-n_2^2n_3^2(n_f^2-n_1^2)x^2-n_1^2n_3^2(n_f^2-n_2^2)g(x)^2 \\ +2n_1n_2n_f^2(n_2^2-n_3^2)xg(x)+n_1^2n_2^2(n_3^2-n_f^2)=0$$

(8c)

これは特性方程式といわれるものである。

一般には、

$$f(x)=-n_2^2(n_2^2n_f^2-n_1^2n_3^2)x^2g(x)^2-n_2^2n_3^2(n_f^2-n_1^2)x^2-n_1^2n_3^2(n_f^2-n_2^2)g(x)^2 \\ +2n_1n_2n_f^2(n_2^2-n_3^2)xg(x)+n_1^2n_2^2(n_3^2-n_f^2)$$

(8d)

と定義して、 $f(x)=0$ を満たす x を二分法またはニュートン法で解く。

【0043】本発明の実施の形態1では、半導体光素子の実効屈折率 n_e が3.2、これに伴い理想的4分の1波長無反射膜の反射率 n_f が1.79、波長 λ が1.3 μm であり、第1の膜を屈折率 n_1 が1.60であるアルミナ(Al_2O_3)、第2の膜の屈折率 n_2 が3.2であるアモルファスシリコン(a-Si)、第3の膜の屈折率 n_3 が1.45である石英(SiO_2)としたとき、第1の膜の膜厚 d_1 、第2の膜の膜厚 d_2 および第3の膜の膜厚 d_3 は各々、106.2nm、10.6nmおよび73.9nmとなる。

【0044】ここでは、半導体光素子の実効屈折率 n_e を3.2、波長1.3 μm としたが、その他の実効屈折率を有する光素子および波長に対しても本発明は有効である。また、3層膜を、第1層がアルミナ、第2層がアモルファスシリコン、第3層が石英で構成したが、その他の材料でも、本発明は実現可能である。

【0045】実施の形態2

図2は、実施の形態2に係る光素子の断面図である。実施の形態1における3層膜の、第1の膜1と第2の膜2の間に、屈折率 n_a で膜厚が $d_a=\lambda/(2n_a)$ である第4の膜4が挿入されている。ここで、 λ は半導体光素子の波長である。

【0046】このように構成すると、波長 λ においては、第4の膜4の行列式は単位行列となるため、反射率には全く影響を与えない。よって、反射率は実施の形態1に係る3層膜の無反射膜と同じになる。一方が、波長が λ より $\pm\Delta\lambda$ ずれた波長領域では、第4の膜4の行列式は単位行列ではなくなるので、実施の形態1に係る3層膜を含めた4層膜の反射率はゼロより大きな値となる。第4の膜4を挿入することで、反射を生じる境界が増えるため、実施の形態1に係る3層膜より波長がずれたときの反射率の増加が大きくなる。このように、波長選択性の急峻な無反射膜が実現できる。

【0047】たとえば、波長1.3 μm の場合、屈折率2.1の TiO_2 を挿入するとすると、その膜厚は309.5nmにすればよいことがわかる。

【0048】ここでは、第1の膜と第2の膜の間に屈折

率 n_a で膜厚が $d_a=\lambda/(2n_a)$ である膜を1層のみ挿入して、その他の境界に、屈折率 n_a で膜厚が $d_a=\lambda/(2n_a)$ である膜を複数層挿入すると効果はさらに大きくなる。

【0049】実施の形態3

図3は、実施の形態3に係る発振波長1.55 μm の分布帰還型半導体(Distributed Feedback:DFB)レーザの断面図である。半導体レーザは、n電極5、n-InP基板6、n-InPバッファ層7、n-InGaAsP光ガイド層8、多重量子井戸活性層9、p-InGaAsP光ガイド層10、p-InP回折格子形成層11、p-InPクラッド層12、p-InGaAsコンタクト層13、p電極14を含む。半導体レーザの端面に、126.7nm厚のアルミナ(Al_2O_3)1aと12.6nm厚のアモルファスシリコン(a-Si)2a、88.1nm厚の石英(SiO_2)3aが設けられている。

【0050】光は、p-InP回折格子形成層11で反射し、その回折格子ピッチで決まる単一の波長で発振する。ただし、端面における反射が存在する場合は、この端面反射率の影響を受けて単一モード性が悪化する。このため、DFBレーザにおいては、端面の反射率を低減することが望まれる。

【0051】図3の装置は、発振波長が1.55 μm である場合の実施の形態1の3層膜をDFBレーザ両端面に設けたものである。このようにすると、単一性の良好なDFBレーザが実現できる。

【0052】実施の形態3では、発振波長1.55 μm LDに対しての例を示したが、この発明は、この波長帯に限るものではなく、その他の波長、たとえば、1.3 μm 帯DFBレーザ、0.98 μm 帯DFBレーザにも有効である。

【0053】また、回折格子を有するその他の半導体レーザ、たとえばDBRレーザにも有効である。

【0054】なお、ここでは、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{a-Si}/\text{SiO}_2$ の3層膜を例示したが、この発明は、この組合せに限られるものではない。

【0055】実施の形態4

図4は、実施の形態4に係る、波長 $0.98\mu\text{m}$ のスーパーミネセントダイオードの断面図である。スーパーミネセントダイオードは、 n 電極5a、 n -GaAs基板6a、 n -AlGaAsクラッド層7a、アンドープ n 側GaAs光ガイド層8a、アンドープ n -GaAs量子井戸活性層9a、アンドープ p 側GaAs光ガイド層10a、 p -AlGaAsクラッド層12a、 p -GaAsコンタクト層13a、 p 電極14aを備える。スーパーミネセントダイオードの前端面には、波長 $0.98\mu\text{m}$ に対する本発明に係る3層膜による無反射膜を設け、後端面には、厚さ 153.1nm の Al_2O_3 と厚さ 72.1nm の $a\text{-Si}$ 多層膜による反射率約98%の高反射率膜を設けることで、発振を抑えとともに前端面から多くの光を取出すことができる構造としている。

【0056】実施の形態4に係る発明では、発振波長 $0.98\mu\text{m}$ に対するスーパーミネセントダイオードの例を示したが、この発明は、この波長帯に限るものではなく、その他の波長、たとえば、 $0.87\mu\text{m}$ 帯、 $1.3\mu\text{m}$ 帯および $1.55\mu\text{m}$ 帯にも有効である。また、ここでは、 $\text{Al}_2\text{O}_3/a\text{-Si}/\text{SiO}_2$ の3層膜を例示したが、本発明は、この組合せに限るものではない。

【0057】実施の形態5

図5は、実施の形態5に係る、波長 $0.87\mu\text{m}$ の発光ダイオードの断面図である。発光ダイオードは、 n 電極5b、 n -GaAs基板6b、 n -AlGaAsクラッド層7b、アンドープ n 側AlGaAs光ガイド層8b、アンドープGaAs量子井戸活性層9b、アンドープ p 側AlGaAs光ガイド層10b、 p -AlGaAsクラッド層12b、 p -GaAsコンタクト層13b、 p 電極14bを含む。

【0058】発光ダイオードの前端面には、波長 $0.87\mu\text{m}$ に対する本発明に係る3層膜による無反射膜を設け、後端面には、厚さ 155.9nm の Al_2O_3 と厚さ 64.0nm の $a\text{-Si}$ 多層膜による反射率約50%の反射膜を設けることで、発振を抑えている。

【0059】実施の形態5に係る発光ダイオードでは、発振波長 $0.87\mu\text{m}$ に対する発光ダイオードの例を示したが、この発明はこの波長帯に限るものでなく、その他の波長、たとえば、 $0.98\mu\text{m}$ 帯、 $1.3\mu\text{m}$ 帯および $1.55\mu\text{m}$ 帯にも有効である。また、ここでは、 $\text{Al}_2\text{O}_3/a\text{-Si}/\text{SiO}_2$ の3層膜を例示したが、この発明は、この組合せに限るものではない。

【0060】実施の形態6

図6は、実施の形態6に係る、波長 $1.3\mu\text{m}$ の半導体レーザ増幅器の断面図である。

【0061】半導体レーザ増幅器は、 n 電極5c、 n -InP基板6c、 n -InPクラッド層7c、アンドープ n 側InGaAsP光ガイド層8c、アンドープInGaAsP多重量子井戸活性層9c、アンドープ p 側InGaAsP光ガイド層10c、 p -InPクラッド層12c、 p -InGaAsコンタクト層13c、 p 電極14cを含む。半導体レーザ増幅器の両端面には、波長 $1.3\mu\text{m}$ で反射率が0となる無反射膜(106.2nm の Al_2O_3 膜1cと 10.6nm の $a\text{-Si}$ 膜2cと 73.9nm の SiO_2 膜3cとからなる)が設けられている。この無反射膜により、端面での反射がなくなり、光の帰還がかからないので、半導体レーザ増幅器は発振せずに、単なる利得媒質として働く。このため、外部から入力光があった場合には、半導体レーザ増幅器内で、その光が増幅し、もう一方の端面から出力する、いわゆる増幅器が実現できる。

【0062】実施の形態6では、発振波長 $1.3\mu\text{m}$ 半導体レーザ増幅器の例を示したが、この発明はこの波長帯に限るものではなく、その他の波長、たとえば、 $1.2\mu\text{m}$ 帯レーザ増幅器、 $1.55\mu\text{m}$ 帯レーザ増幅器にも有効である。また、ここでは、 $\text{Al}_2\text{O}_3/a\text{-Si}/\text{SiO}_2$ の3層膜を例示したが、この発明はこの組合せに限るものではない。

【0063】今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施の形態1に係る半導体光素子装置の断面図である。

【図2】 実施の形態2に係る半導体発光素子の断面図である。

【図3】 実施の形態3に係る、発振波長 $1.55\mu\text{m}$ の分布帰還型半導体レーザの断面図である。

【図4】 実施の形態4に係る、発振波長 $0.98\mu\text{m}$ のスーパーミネセントダイオードの断面図である。

【図5】 実施の形態5に係る、波長 $0.87\mu\text{m}$ の発光ダイオードの断面図である。

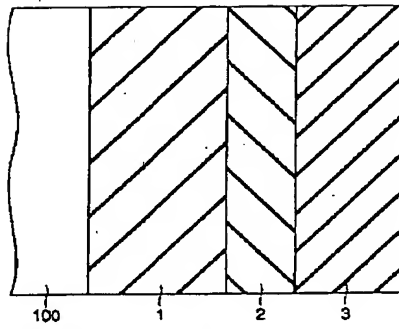
【図6】 実施の形態6に係る、発振波長 $1.3\mu\text{m}$ の半導体レーザ増幅器の断面図である。

【図7】 従来の、無反射コーティング膜を有する半導体光素子装置の部分断面図である。

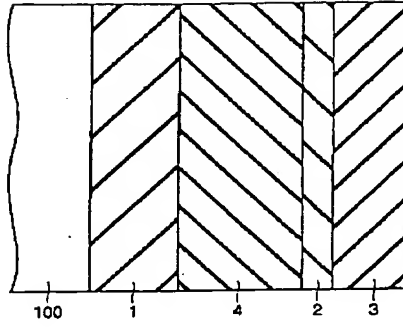
【符号の説明】

1 第1の膜、2 第2の膜、3 第3の膜、100 半導体レーザ。

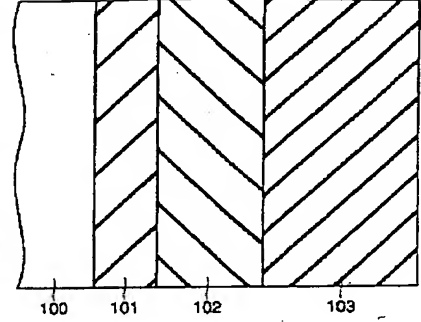
【図1】



【図2】

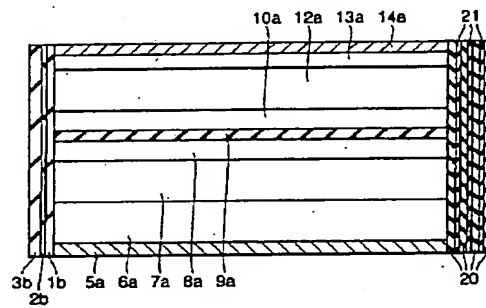


【図7】

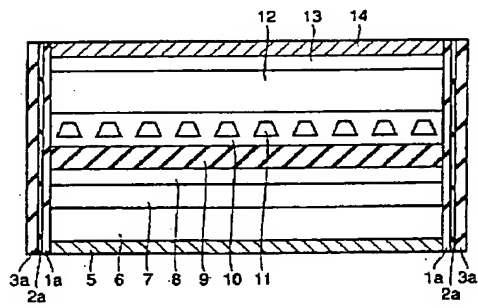


1: 第1の膜
2: 第2の膜
3: 第3の膜
100: 半導体レーザ

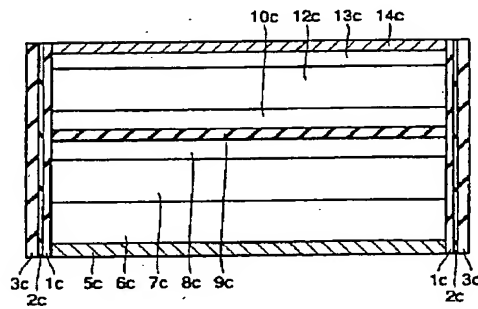
【図4】



【図3】



【図6】



【図5】

